

PENGARUH KEBERADAAN BENDUNG DAN TERJUNAN PADA KONSENTRASI OKSIGEN DALAM AIR

Achmad Arief

Dosen Fakultas Teknik Sipil Universitas Islam Malang
Jl.MT.Haryono 193. Malang.

ABSTRAK

Keberadaan bangunan air khususnya bendung dan terjunan yang berfungsi mengatur dan mengendalikan aliran air, sering dianggap sebagai salah satu penyebab kerusakan lingkungan. Kenyataannya dengan adanya olakan dibelakang bangunan tersebut menyebabkan meningkatnya intensitas kontak air dengan udara (*proses aerasi*), sehingga akan meningkatkan kandungan oksigen dalam air (*Dissolved Oxygen – DO*), sehingga adanya bendung dan terjunan akan membantu proses memperbaiki diri secara alami pada kualitas air (*Self Purification*). Penelitian ini dilakukan untuk membuktikan hal tersebut dengan menggunakan parameter utama *Bilangan Froude* sebagai fungsi kecepatan aliran dan tinggi muka air sekaligus sebagai parameter penentu besarnya olakan akibat aliran air, dan *Dissolved Oxygen (DO)* sebagai parameter besarnya kandungan oksigen dalam air. Parameter lain yang ditinjau adalah *Chemical Oxygen Demand (COD)* dan Temperatur ($^{\circ}\text{C}$), dan berfungsi sebagai parameter pendukung. Data hidrolis diukur langsung di lapangan dan sampel air yang diambil di lapangan dianalisa di laboratorium. Analisis hidrolis menghasilkan *Bilangan Froude*, dan analisis di laboratorium menghasilkan nilai *DO* dan *COD*. Analisis regresi dan korelasi digunakan untuk mendapatkan model hubungan antara *Bilangan Froude* dengan kenaikan kandungan oksigen ($\Delta\text{-DO}$), sedang untuk kalibrasi digunakan software QUAL2K. Hasil Penelitian yang didapatkan adalah terbukti adanya peningkatan kandungan oksigen terlarut sejalan dengan peningkatan besarnya bilangan Froude, dan model fungsi regresi yang terbaik adalah kuadrat regresi. Fungsi-fungsi tersebut adalah : Bendung $\Delta\text{DO} = 0.0165.Fr^2 - 0.2832.Fr + 1.4828$ $R = 0.9990$ Terjunan $\Delta\text{DO} = 0.0444.Fr^2 - 0.4797.Fr + 1.4177$, $R = 0.9895$ 3. Gabungan $\Delta\text{DO} = 0.0023.Fr^2 + 0.0060.Fr + 0.0217$ $R = 0.9976$ Hasil ini menunjukkan bahwa, nilai COD terbukti tidak mempengaruhi proses peningkatan kandungan oksigen terlarut. Hasil analisis menggunakan software QUAL2K membuktikan bahwa hasil analisis tersebut di atas mempunyai kesamaan.

Kata kunci : Bendung, terjunan, Bilangan Froude (*Fr*), *Dissolved Oxygen (DO)*, *Chemical Oxygen Demand (COD)*

PENDAHULUAN

Air adalah komponen utama alam yang sangat mempengaruhi kehidupan makhluk hidup di bumi ini. Oleh karena itu, pengelolaan dan pelestarian air adalah sebuah usaha untuk melestarikan kehidupan makhluk hidup.

Air sebagai sumberdaya alam, telah dimanfaatkan manusia untuk keperluan hidup, bercocok tanam dan industri. Seiring dengan pertambahan jumlah penduduk, pembukaan areal persawahan baru dan pengembangan industri, menyebabkan kebutuhan air sangat meningkat, yang dihadapkan pada persediaan air yang terbatas secara kuantitas maupun kualitasnya.

Aliran normal yang terjadi di saluran air biasanya adalah aliran sub-kritis. Pada saat aliran air melintasi bangunan bendung atau terjunan, selalu terjadi proses perubahan bentuk aliran air dari aliran sub-kritis menuju aliran kritis dan super kritis, sehingga harus terjadi pelepasan energi akibat perubahan bentuk aliran, untuk menjadikan aliran tersebut kembali menjadi sub-kritis.

Dampak pelepasan energi tersebut, selalu ditandai dengan terjadinya olakan air. Adanya proses olakan air ini, akan meningkatkan kandungan Oksigen dalam air (*Dissolved Oxygen*) karena meningkatnya kontak air dengan udara (*proses aerasi*) dan berakibat baik serta mendukung proses

mandiri aliran air memperbaiki kualitasnya (*Self Purification*).

Penelitian ini adalah penelitian yang menggabungkan bidang ilmu hidrolik dengan lingkungan khususnya kualitas air, sekaligus keinginan untuk membuktikan bahwa adanya bangunan air juga memiliki andil dalam proses perbaikan lingkungan, khususnya kualitas air.

Identifikasi Masalah

Aliran air yang melewati bendung dan terjunan, terbagi atas dua kondisi, yaitu aliran bebas dan aliran tenggelam. Penelitian ini dilakukan pada kondisi aliran yang melewati bendung dan terjunan adalah aliran bebas.

Kondisi aliran air yang melewati bendung dan terjunan terbagi atas 3 (tiga) fase; yaitu kondisi aliran sub-kritis menjadi kritis, kondisi aliran kritis sampai dengan aliran super kritis, dan kondisi aliran super kritis kembali ke aliran sub kritis. Pada kondisi pertama akan terjadi limpasan air dan pada kondisi kedua akan terjadi terjunan, dan kondisi ketiga akan terjadi olakan air. Adanya proses limpasan dan olakan air ini, akan meningkatkan kandungan Oksigen dalam air (oksigen terlarut) akibat meningkatnya kontak air dengan udara (*proses aerasi*).

Analisis laboratorium kandungan Oksigen dalam air yang diambil sebelum aliran kritis, pada saat puncak aliran super kritis dan setelah aliran kembali ke sub-kritis, diharapkan akan memberikan gambaran terjadinya hubungan dan peningkatan kandungan Oksigen dalam air.

Rumusan Masalah

1. Bagaimana pengaruh perubahan aliran air akibat keberadaan bendung dan terjunan pada konsentrasi oksigen dalam air?
2. Bagaimana model hubungan antara perubahan bilangan Froude sebagai fungsi dari kecepatan aliran dan tinggi muka air akibat adanya bendung dan terjunan dengan perubahan nilai konsentrasi oksigen dalam air?
3. Bagaimana perbandingan hasil

perubahan nilai konsentrasi oksigen dalam air tersebut pada bangunan bendung dan terjunan?

4. Bagaimana kalibrasi hasil tersebut diatas dibandingkan dengan hasil analisis komputasi menggunakan Software QUAL2K?

Hipotesis

1. Ada peningkatan nilai konsentrasi oksigen dalam air yang besar antara kondisi air di hulu dan di hilir bendung dan terjunan.
2. Bentuk model hubungan antara bilangan Froude sebagai fungsi dari kecepatan aliran dan tinggi muka air dengan peningkatan nilai konsentrasi oksigen dalam air adalah kurva naik. Artinya, semakin besar nilai bilangan Froude maka peningkatan nilai konsentrasi oksigen dalam air semakin naik pula, sampai batas jenuh kandungan oksigennya.
3. Perbedaan peningkatan nilai konsentrasi oksigen dalam air pada terjunan dan bendung tergantung pada nilai bilangan Froude, bukan bentuk bangunan dan besarnya debit.
4. Adanya tren yang sama antara hasil pengukuran dengan hasil analisis komputasi menggunakan Software River and Stream Water Quality Model (QUAL2K), tetapi dengan nilai yang berbeda. Hal ini terjadi karena pada penelitian ini, parameter yang digunakan adalah DO dan COD saja, sedang pada Software QUAL2K, lebih banyak parameter yang digunakan.

Lingkup Penelitian

1. penelitian ini hanya dilakukan pada sebuah bendung dan sebuah terjunan, dengan kondisi aliran bebas.
2. Parameter penelitian adalah kecepatan aliran (V) dan tinggi muka air (H) sebagai fungsi bilangan Froude, temperatur (°C), dissolved oxygen (DO) dan chemical oxygen demand (COD)
3. Penelitian dilakukan sebanyak 8 (delapan) kali untuk masing-masing

bangunan, dengan kegiatan utama melakukan pengukuran kecepatan aliran dan tinggi muka air dan pengambilan sampel air.

4. Pengambilan sampel air dilakukan pada titik-titik pengukuran dengan selisih waktu yang dipengaruhi oleh kecepatan aliran
5. Nilai konsentrasi oksigen dalam air (*Dissolved Oxygen - DO*) diperoleh dari sampel air yang dianalisa di laboratorium, sedangkan sebagai kontrol untuk mengetahui kemungkinan adanya perubahan karena reaksi kimia di aliran air, dilakukan analisa COD (*Chemical Oxygen Demand*).
6. Analisis menggunakan software river and stream water quality model (QUAL2K) digunakan untuk verifikasi dan kalibrasi hasil penelitian ini.

Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan hubungan nilai bilangan Froude dengan peningkatan nilai DO antara pengambilan sampel air di hulu dan hilir bendung dan terjunan, serta pengaruh nilai (COD) pada proses tersebut
2. Memberikan bukti bahwa adanya bendung dan terjunan sebagai upaya manusia mengatur dan mengendalikan aliran air, memberi pengaruh positif bagi lingkungan, khususnya pada

kualitas air dengan peningkatan kandungan oksigen terlarut.

Manfaat Penelitian

1. Mengetahui fungsi hubungan peningkatan nilai DO dalam air dengan Bilangan Froude akibat adanya bendung dan terjunan pada aliran air.
2. Model yang didapatkan bisa dimanfaatkan untuk memprediksi peningkatan nilai DO akibat melewati bendung dan terjunan.
3. Sebagai bahan acuan penelitian lebih lanjut di bidang kualitas air dan *Environmental-Hdraulics*.

TINJAUAN PUSTAKA

Parameter Kualitas Air

Oksigen Terlarut (*Dissolved Oxygen*)

Oksigen terlarut merupakan kebutuhan dasar untuk kehidupan tanaman dan hewan didalam air. Kehidupan makhluk hidup di dalam air sangat bergantung dari kemampuan air untuk mempertahankan konsentrasi oksigen minimal yang dibutuhkan untuk kehidupan makhluk hidup tersebut. Ikan merupakan makhluk air yang memerlukan oksigen tertinggi, kemudian invertebrata, dan yang terkecil kebutuhannya adalah bakteri.

Oksigen terlarut (*dissolved oxygen*) dapat berasal dari proses fotosintesis tanaman air dan dari udara yang masuk ke dalam air dengan kecepatan terbatas.

Tabel 1. Hubungan antara suhu dengan konsentrasi oksigen terlarut maksimum pada tekanan 1 atmosfer.

Suhu (°C)	Konsentrasi Max (ppm)	Suhu (°C)	Konsentrasi Max (ppm)
0	14.6	30	7.6
10	11.3	32	7.4
12	10.8	34	7.2
14	10.4	36	7.0
16	10.0	38	6.8
18	9.5	40	6.6
20	9.2	42	6.4
22	8.8	44	6.2
24	8.5	46	6.0
26	8.2	48	5.8
28	7.9	50	5.6

Konsentrasi oksigen terlarut dalam keadaan jenuh, bervariasi tergantung dari suhu dan tekanan atmosfer.

Konsentrasi oksigen terlarut yang terlalu rendah akan mengakibatkan ikan dan binatang air lainnya serta tanaman air yang membutuhkan oksigen akan mati.

Biota air hangat memerlukan oksigen terlarut minimal 5 ppm, sedang biota air dingin memerlukan oksigen terlarut mendekati jenuh. Konsentrasi oksigen terlarut minimal untuk kehidupan biota tidak kurang dari 6 ppm.

Chemical Oxygen Demand (COD)

Kebutuhan oksigen kimia (*COD*) adalah jumlah oksigen (dalam mg O_2) yang dibutuhkan untuk mengoksidasi zat-zat organik yang ada dalam 1 liter air menggunakan oksidator $K_2Cr_2O_7$ (*kalium dichromat*) yang berfungsi sebagai sumber oksigen (*oxidizing agent*). (Alaerts & Santika, 1987 : 149).

Uji COD biasanya menghasilkan nilai kebutuhan oksigen lebih tinggi dari uji BOD. Hal ini disebabkan karena beberapa bahan yang stabil terhadap reaksi biologi dapat teroksidasi dalam uji COD. Selulosa sering tidak terukur melalui uji BOD karena sukar dioksidasi melalui reaksi biokimia, dapat diukur melalui uji COD. Sekitar 96% hasil uji COD selama 10 menit kira-kira setara dengan uji BOD selama 5 hari (Fardiaz, 1992:38).

Swa-Pemurnian (*Self Purification*)

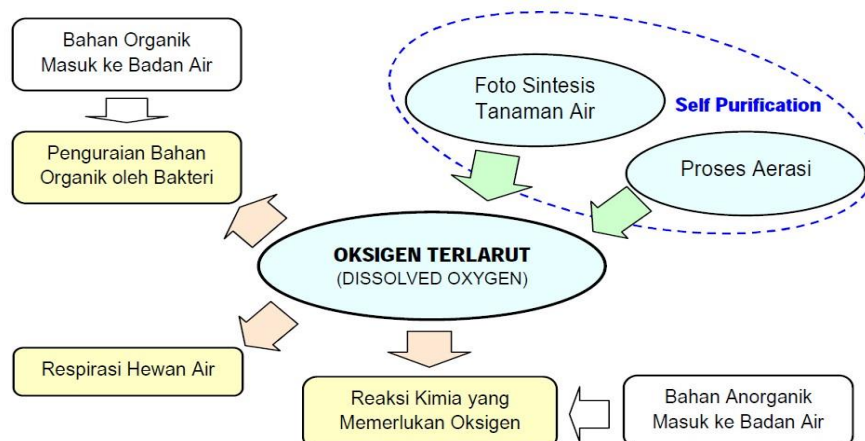
Mekanisme swa-pemurnian dari sistem air di alam terdiri atas proses fisika,

kimia dan biologi. Kecepatan dan kesempurnaan dari proses yang terjadi bergantung pada banyak variabel. Karakteristik hidraulik seperti volume, debit dan aliran turbulen, variasi intensitas sinar matahari dan suhu, serta sifat kimia air, semua merupakan variabel sistem yang mempunyai pengaruh pada proses pemurnian secara alami. Variabel sistem dari air di alam tersebut merupakan sifat dasar dan jarang berubah.

Proses fisika dalam swa-pemurnian sungai antara lain pengenceran, sedimentasi, resus-pensi, filtrasi, perpindahan gas dan perpindahan panas. Proses yang lain merupakan proses kimiawi dan biokimia. Dalam proses swa-pemurnian sungai, dilibatkan juga mikroorganisme-mikroorganisme seperti bakteri, protozoa, alga dan organisme tingkat rendah lainnya.

Kapasitas asimilasi merupakan kemampuan air untuk melarutkan oksigen ke dalam air. Ukuran kapasitas asimilasi adalah kandungan oksigen terlarut (DO), sedang ukuran beban terhadap kapasitas ini adalah BOD. Oksigen terlarut dimanfaatkan pada oksidasi BOD secara alami digantikan oleh oksigen tambahan dari udara. Kecepatan penggantian oksigen ini disebut dengan kecepatan re-aerasi, dan kecepatan oksigen dipakai disebut dengan kecepatan de-oksigenasi.

Model yang menggambarkan proses swa-pemurnian akibat adanya buangan limbah organik ke dalam sungai atau siklus keseimbangan oksigen terlarut adalah:



Gambar 1. Siklus Keseimbangan Oksigen Terlarut

Proses Transformasi Oksigen Terlarut

Proses transformasi Oksigen Terlarut (DO) banyak dibuat dalam bentuk model Oksigen Terlarut. Banyak model Oksigen Terlarut yang kini digunakan berdasarkan model yang dibuat oleh Streeter dan Phelps pada tahun 1925. Model tersebut memprediksi perubahan defisit oksigen sebagai fungsi dari BOD yang digunakan dan re-aerasi dari aliran (*Tchobanoglous, 1987 : 84*) :

$$D = C_s - C \quad (1)$$

Dimana :

D = Defisit Oksigen Terlarut (mg/L)

C_s = Kandungan oksigen dalam keadaan jenuh (mg/L)

C = Kandungan oksigen pada suhu tertentu (mg/L)

Dalam kondisi kesetimbangan yang konstan, harga C_s tidak berubah, dan banyaknya perubahan defisit oksigen adalah :

$$\frac{dD}{dt} = -\frac{dC}{dt} \quad (2)$$

Jadi, defisit meningkat setara dengan meningkatnya penggunaan oksigen. Defisit Oksigen Terlarut mengendalikan kekuatan dari reaerasi. Semakin besar defisit maka semakin besar pula harga reaerasi.

Laju Pelepasan Oksigen (*Deoksigenasi*)

Tchobanoglous (1987 : 85) berpendapat bahwa proses berkurangnya DO bersamaan dengan proses meningkatnya BOD. Secara matematis dapat ditulis sebagai berikut :

$$\frac{dY}{dt} = -\frac{dC}{dt} \quad (3)$$

Substitusi persamaan-1 :

$$\frac{dY}{dt} = \frac{dD}{dt} \quad (4)$$

Jumlah oksigen yang diperlukan untuk menguraikan bahan organik (BOD_t) dapat ditentukan dari nilai L_t. Jika L_o adalah oksigen ekuivalen yang dikonsumsi atau besarnya BOD yang digunakan, secara matematis dapat ditulis dengan persamaan berikut ini:

$$Y = L_o \cdot L_t \quad (5)$$

karena L_o merupakan total penggunaan BOD maka nilai gabungannya, adalah sebagai berikut :

$$\frac{dY}{dt} = -\frac{dL_t}{dt} \quad (6)$$

BOD₅ hanya menunjukkan kebutuhan oksigen selama 5 hari. Total BOD atau BOD untuk suatu periode waktu tertentu dapat ditentukan dengan penambahan beberapa informasi. Konstanta yang menunjukkan penggunaan bahan organik oleh mikroorganisme diasumsikan merupakan reaksi orde satu. Konstanta reaksi tersebut dinyatakan sudah cukup untuk mendapat jumlah BOD yang ada (*Metcalf & Eddy, 1991: 72*). Secara matematis dapat ditulis:

$$\frac{dY}{dt} = -k \cdot L_t \quad (7)$$

Dengan menggabungkan persamaan-6 dan 7 secara substitusi dihasilkan :

$$\frac{dD}{dt} = k \cdot L_t \quad (8)$$

keadaan tersebut merupakan reaksi orde satu dan menunjukkan besarnya perubahan pengurangan Oksigen Terlarut pada saat t daripada BOD adalah sebanding dengan oksigen ekuivalen bahan organik yang tersisa. Dan persamaan-8 laju pelepasan oksigen dirumuskan sebagai berikut :

$$r_1 = k_1 \cdot L_t \quad (9)$$

Dimana :

r₁ = Laju pelepasan oksigen (mg/L. hari)

k₁ = Konstanta laju pelepasan (hari⁻¹)

L_t = Sisa BOD dari karbon pada waktu t (mg/L) .

Laju Penyerapan Oksigen (*Reoksigenasi*)

Telah dijelaskan di atas bahwa besarnya reaerasi reaksi orde satu berkenaan dengan besarnya defisit oksigen. Secara matematis laju penyerapan oksigen diekspresikan sebagai berikut: (*Tchobanoglous, 1987: 86*)

$$r_2 = k_2 \cdot D \quad (10)$$

Dimana :

r_2 = Laju penyerapan oksigen (mg/L. hari)
 k_2 = Konstanta laju reaerasi (hari⁻¹)
 D = Defisit Oksigen Terlarut (mg/L)

Tanda negatif pada persamaan di atas hanya menunjukkan secara fakta bahwa penambahan oksigen mereduksi pengurangan oksigen. Nilai k_2 merupakan nilai yang spesifik. Faktor yang mempengaruhi k_2 meliputi turbulensi aliran (merupakan fungsi dari kecepatan dan karakteristik saluran/sungai), luas permukaan, kedalaman air dan suhu.

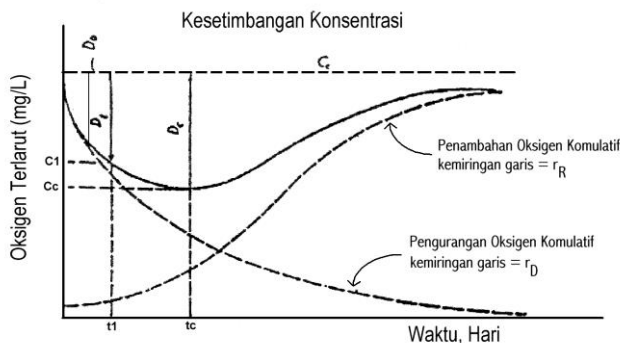
Kurva Kelenturan Oksigen (*Oxygen Sag Curve*)

Tchobanoglous (1987) berpendapat bahwa penggunaan oksigen dalam aliran air merupakan fungsi dari proses reaerasi. Pada persamaan-9 dan 11, terlihat bahwa kedua proses tersebut mempunyai efek yang berlawanan pada proses pengurangan oksigen. Besarnya defisit merupakan jumlah dari dua reaksi tersebut, yaitu :

$$\frac{dD}{dt} = r_1 + r_2 \quad (11)$$

$$\frac{dD}{dt} = k_1.L_t - k_2.D \quad (12)$$

tanda negatif pada persamaan-15 didasarkan pada kenyataan bahwa penyerapan kembali oksigen menurunkan pengurangan oksigen. Jumlah oksigen terlarut setiap saat dapat ditentukan dengan memakai bentuk integrasi dari persamaan-15, bila kecepatan penyerapan kembali dan pelepasan oksigen diketahui. Persamaan terintegrasi berikut dikenal dengan persamaan Streeter-Phelps:



Gambar 2.
Karakteristik Kurva Kelenturan Oksigen

$$\frac{dD}{dt} + k_2.D = k_1.L_t.10^{-k_1.t} \quad (13)$$

pada waktu $t = 0$, $D = D_0$, maka hasil integral dari persamaan-16 adalah seperti berikut :

$$D_t = \frac{k_1.L}{k_2 - k_1}(10^{-k_1.t} - 10^{-k_2.t}) + D_0.10^{-k_2.t} \quad (14)$$

Dimana :

D_t = Defisit oksigen pada waktu t (mg/L)
 D_0 = Defisit oksigen awal pada titik aliran limbah pada saat $t = 0$ (mg/L)
 L = BOD tahap pertama tertinggi pada titik pembuangan, (mg/L)

Dalam banyak kasus, kepentingan yang utama adalah mengarah pada titik kritis yang merupakan kondisi kritis dari defisit oksigen, yaitu defisit kritis D_c , dan waktu kritis t_c . Pada titik tersebut tidak ada perubahan pada saat proses defisit oksigen berlangsung (Linsley dan Franzini, 1986 : 266)

$$\frac{dD}{dt} = k_1.L_t - k_2.D = 0 \quad (15)$$

Maka defisit kritis adalah :

$$D_c = \frac{k_1}{k_2}.L_0.10^{-k_1.t} \quad (16)$$

Dan waktu kritis diekspresikan dengan

$$t_c = \frac{1}{(k_2 - k_1)} \times \text{Log} \left[\left(\frac{k_1.L - k_2.D_0 + k_1.D_t}{k_1.L} \right) \cdot \frac{k_2}{k_1} \right] \quad (17)$$

Secara grafis digambarkan dua proses yang berlawanan dan karakteristik dari kelenturan oksigen dalam air seperti pada gambar di bawah ini.

Bendung dan Terjunan

Bendung

Bendung adalah bangunan yang dibangun melintang di sungai. Fungsi utama bendung adalah menaikkan elevasi muka air pada kondisi aliran sungai normal agar mampu mengairi sawah yang tertinggi dan terjauh. Untuk mendapatkan sejumlah debit bagi kebutuhan air irigasi, maka diperlukan bangunan pengambilan (*intake*).

Kapasitas aliran yang melalui bendung merupakan debit keluaran dari tumpungan Bendung yang telah mencapai kapasitas maksimum. Bangunan bendung dimaksudkan untuk membuang kelebihan debit (debit banjir) yang terjadi pada musim hujan. Debit yang melalui mercu bendung dapat dihitung berdasarkan rumus sebagai berikut : (Chow, 1985 : 358)

$$Q = c \cdot L_{eff} \cdot H_d^{3/2} \quad (17)$$

dimana :

Q = debit yang lewat di atas bendung (m³/dt)

c = koefisien limpasan

L_{eff} = lebar efektif mercu bendung (m)

H_d = tinggi air di atas mercu (m)

Koefisien pengaliran (C) dari Tipe standard suatu bendung dapat diperoleh dengan rumus Rehbock (Chow, 1985 : 358) :

$$c = 3.27 + 0.40 \frac{H}{h} \quad (18)$$

dimana :

c = koefisien pengaliran

H = tinggi air di atas mercu bendung (m)

h = tinggi bendung (m)

Rumus yang digunakan untuk menghitung lebar efektif bendung menggunakan (Chow, 1985 : 358) :

$$L_{eff} = L' - 0.1 N \cdot H \quad (19)$$

dimana :

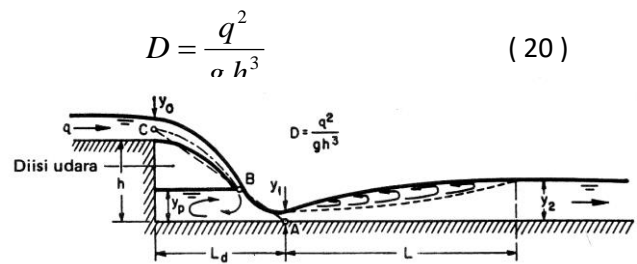
L' = lebar bendung sesungguhnya (m)

N = Banyaknya penyempitan. Untuk penyempitan dua sisi, N=2; dan untuk penyempitan satu sisi, N=1; bila tidak ada penyempitan, N=0.

H = tinggi air di atas mercu bendung (m)

Terjunan

Air luapan jatuh bebas pada terjunan (Gambar 3) akan memutar kurvatumnya dan bergerak secara perlahan-lahan hingga menjadi aliran superkritis pada lapisan lindung. Akibatnya, akan terbentuk suatu loncatan hidrolis pada hilir. Berdasarkan data-data percobaan, didapatkan bukti bahwa geometri aliran pada terjunan dapat dijelaskan dengan fungsi bilangan terjunan, yaitu (Chow, 1985 : 418) :



Gambar 3.

Geometri aliran pada pelimpah terjunan lurus.

Fungsi-fungsinya adalah (Chow, 1985 : 418):

$$\frac{Y_1}{h} = 0.54 \cdot D^{0.425} \quad (21)$$

$$\frac{Y_2}{h} = 1.66 \cdot D^{0.27} \quad (22)$$

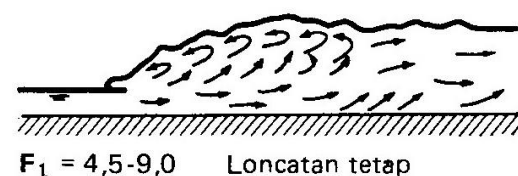
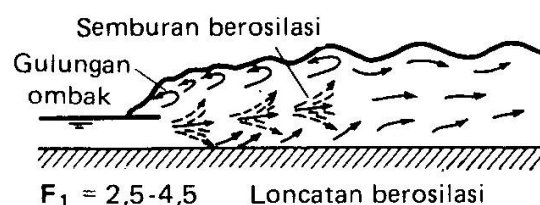
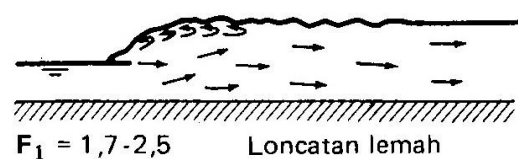
dimana :

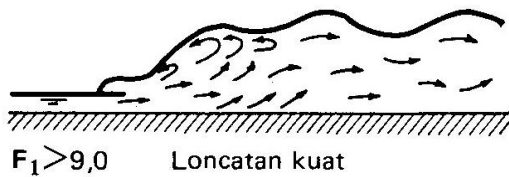
y₁ = adalah kedalaman pada kaki air limpah atau kedalaman pada tempat mulainya loncatan;

y₂ = adalah kedalaman air pada hilir setelah loncatan berakhir.

Tipe-tipe Loncatan Hidrolis

Loncatan hidrolis yang terjadi pada dasar horisontal, terdiri dari beberapa tipe yang berbeda-beda. Sesuai dengan Penelitian yang dilakukan oleh Biro Reklamasi Amerika Serikat, tipe-tipe tersebut dapat dibeda-bedakan berdasarkan bilangan Froude dari aliran air. (Chow, 1985:391)





Gambar 5. Berbagai Tipe Loncatan Hidrolis

Perlu diketahui, bahwa selang bilangan Froude yang dituliskan di atas untuk berbagai tipe loncatan, tidak tepat seperti angka-angka yang ditulis, tetapi saling tumpang tindih tergantung pada kondisi lokalnya.

Software QUAL2K

QUAL2K (atau Q2K) adalah suatu software model kualitas air di sungai dan aliran air yang disusun sebagai versi yang modern dari Software QUAL2E (atau Q2E) (*Brown and Barnwell 1987*).

Analisis menggunakan software ini digunakan untuk pembandingan, apakah hasil analisis dari pengukuran di lapangan mempunyai kesesuaian dengan hasil analisis menggunakan software ini.

METODE PENELITIAN

Penelitian di Bendung dan Terjunan

Penelitian dilakukan untuk mendapatkan :

1. Data dimensi bendung dan terjunan beserta bangunan pen-dukungnya
2. Penentuan titik-titik pengamatan dan jaraknya
3. Pengukuran kecepatan aliran dan tinggi muka air pada titik peng-amatan
4. Menghitung waktu tempuh (time travel) antar titik pengamatan
5. Pengambilan sampel air di tiap titik pengamatan masing-masing 1 botol sampel sesuai dengan waktu dan pengukuran temperaturnya
6. Proses pengukuran diatas dilaku-kan sebanyak 8 kali

Penelitian di Laboratorium

Sampel air dianalisa di laboratorium untuk mendapatkan nilai DO dengan metode Winkler dan COD dengan metode Kromatometri. Nilai DO digunakan sebagai parameter utama, sedang nilai COD berfungsi sebagai kontrol.

Analisis Data Hasil Penelitian

Langkah-langkah analisis data hidrolis adalah sebagai berikut:

1. Perhitungan nilai rata-rata peng-ukuran, sehingga di tiap titik pengukuran hanya ada satu nilai kecepatan aliran dan tinggi muka air.
2. Analisis kebenaran data peng-ukuran di puncak bendung dan terjunan, dengan asumsi yang terjadi adalah aliran kritis ($Fr = 1$).
3. Analisis kebenaran data pengukuran di akhir terjunan air, dengan asumsi aliran yang terjadi adalah aliran super kritis ($Fr > 1$), beserta perhitungan besarnya bilangan Froude.
4. Analisis kebenaran data ukur di akhir kolam olak, dengan asumsi aliran yang terjadi adalah aliran sub-kritis ($Fr < 1$).

Analisis berikutnya adalah analisis nilai COD dari hasil uji laboratorium. Bila nilai COD menurun berarti ada proses pengurangan DO selama penelitian dilakukan, sedang apabila nilai COD tetap atau meningkat, berarti tidak ada pengaruh COD terhadap perubahan nilai DO selama penelitian dilakukan.

Analisis Menggunakan Software QUAL2K

Analisis menggunakan software ini digunakan untuk pembandingan, apakah hasil analisis dari pengukuran di lapangan mempunyai kesesuaian dengan hasil analisis menggunakan software ini.

Kesamaan atau ketidaksesuaian yang terjadi memberikan verifikasi terhadap hasil penelitian ini.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Data Hidrolik

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis ini adalah:

1. Menghitung rata-rata tinggi muka air dan kecepatan aliran pada seluruh pengukuran yang telah dilakukan

2. Kontrol perhitungan hidrolis dengan nilai Bilangan Froude pada pengukuran, dengan ketentuan pada aliran kritis $Fr=1$, aliran super kritis $Fr>1$ dan aliran sub-kritis $Fr<1$.

Hasil perhitungan pada kondisi super kritis didapatkan Bilangan Froude yang digunakan analisis berikutnya.

Tabel 4. Perhitungan Hidraulik di Bendung (Titik 1 : Aliran Kritis)

No.	H-rata2 (m)	V-rata2 (m/dt)	L-eff (m)	Cd	Q-hitung (m3/dt)	Froude hitung	H-teori (m)	Q-teori (m3/dt)	Froude teori
1A.	0.183	1.342	10.02	3.39	2.662	1.002	0.184	2.674	1.000
2A.	0.211	1.437	10.02	3.41	3.312	0.999	0.210	3.300	1.000
3A.	0.238	1.532	10.01	3.43	3.986	1.003	0.239	4.014	1.000
4A.	0.266	1.617	10.01	3.45	4.733	1.001	0.267	4.748	1.000
5A.	0.289	1.699	10.00	3.46	5.381	1.009	0.294	5.531	1.000
6A.	0.312	1.778	10.00	3.48	6.060	1.016	0.322	6.357	1.000
7A.	0.343	1.853	9.99	3.50	7.022	1.010	0.350	7.241	1.000
8A.	0.378	1.925	9.98	3.52	8.172	1.000	0.378	8.169	1.000

Tabel 5. Perhitungan Hidraulik di Bendung (Titik 2 : Aliran Super Kritis)

No.	H-rata2 (m)	V-rata2 (m/dt)	Debit (m3/dt)	Froude
1B.	0.045	5.906	2.674	8.889
2B.	0.051	6.432	3.300	9.093
3B.	0.056	7.125	4.014	9.613
4B.	0.062	7.612	4.748	9.760
5B.	0.065	8.459	5.531	10.593
6B.	0.068	9.009	6.163	11.030
7B.	0.076	9.662	7.387	11.190
8B.	0.085	10.456	8.941	11.450

Tabel 6. Perhitungan Hidraulik di Bendung (Titik 3 : Aliran Sub Kritis)

No.	H-rata2 (m)	V-rata2 (m/dt)	Debit (m3/dt)	Froude
1C.	0.376	0.487	2.673	0.254
2C.	0.406	0.557	3.302	0.279
3C.	0.438	0.628	4.014	0.303
4C.	0.466	0.698	4.749	0.326
5C.	0.493	0.768	5.528	0.349
6C.	0.519	0.839	6.357	0.372
7C.	0.546	0.909	7.246	0.393
8C.	0.570	0.981	8.164	0.415

Dengan cara yang sama, dilakukan analisis data hidraulik di terjunan.

Hasil Data Kualitas Air

Langkah-langkah yang dilakukan dalam analisis ini adalah:

1. Mengamati dan menghitung selisih nilai COD dari hasil analisis sampel air yang diambil di aliran kritis (titik-1) dan sub-kritis (titik-3). Dari hasil perhitungan didapatkan bahwa nilai COD tidak mempengaruhi meningkatnya DO.
2. Menghitung selisih nilai DO hasil analisis sampel air yang diambil pada titik-1, titik-2 dan titik-3.
3. Hasil perhitungan adalah sebagai berikut:

Tabel 7. Hasil Perhitungan Nilai DO dan COD di Bendung dan Terjunan (ppm)

No.	ΔDO_1 (ppm)	ΔDO_2 (ppm)	ΔCOD (ppm)
1.	0.00012	0.1202	8.00
2.	0.00010	0.1280	

No.	ΔDO_1 (ppm)	ΔDO_2 (ppm)	ΔCOD (ppm)
1.	0.00021	0.2673	14.00
2.	0.00018	0.2730	

3.	0.00945	0.1300		3.	0.00025	0.2880	
4.	0.00010	0.1337	9.00	4.	0.00002	0.2918	2.00
5.	0.00010	0.1400		5.	0.00018	0.3322	
6.	0.00010	0.1500		6.	0.00006	0.3678	
7.	0.00012	0.1560	11.00	7.	0.00028	0.3770	8.00
8.	0.00028	0.1620		8.	0.00001	0.4070	

Keterangan:

ΔDO_1 : Selisih nilai DO di terjunan air ; ΔDO_2 : Selisih nilai DO di kolam olak

Hasil Analisis Regresi dan Korelasi

Tabel 8. Hasil Perhitungan Bilangan Froude dan Nilai ΔDO di Bendung dan Terjunan

No.	Bil. Froude	ΔDO (ppm)	No.	Bil. Froude	ΔDO (ppm)
1	8.889	0.2673	1	5.356	0.1202
2	9.093	0.2730	2	5.639	0.1280
3	9.613	0.2880	3	5.830	0.1300
4	9.760	0.2918	4	5.974	0.1337
5	10.593	0.3322	5	6.089	0.1400
6	11.030	0.3678	6	6.187	0.1500
7	11.190	0.3770	7	6.273	0.1560
8	11.450	0.4070	8	6.350	0.1620

Tabel 9. Analisis Regresi dan Korelasi di Bendung

No.	Regresi	Bentuk Persamaan	Koef. Korelasi
1.	Linier Regresi	$y = 0.0527.x - 0.2119$	$R = 0.9809$
2.	Logaritme Regresi	$y = 0.5302.Ln(x) - 0.9037$	$R = 0.9747$
3.	Exponensial Regresi	$y = 0.0621.e^{0.1612x}$	$R = 0.9891$
4.	Power Regresi	$y = 0.0074.x^{1.6246}$	$R = 0.9843$
5.	Kuadratik Regresi	$y = 0.0165.x^2 - 0.2832.x + 1.4828$	$R = 0.9990$

Tabel 10. Analisis Regresi dan Korelasi di Terjunan

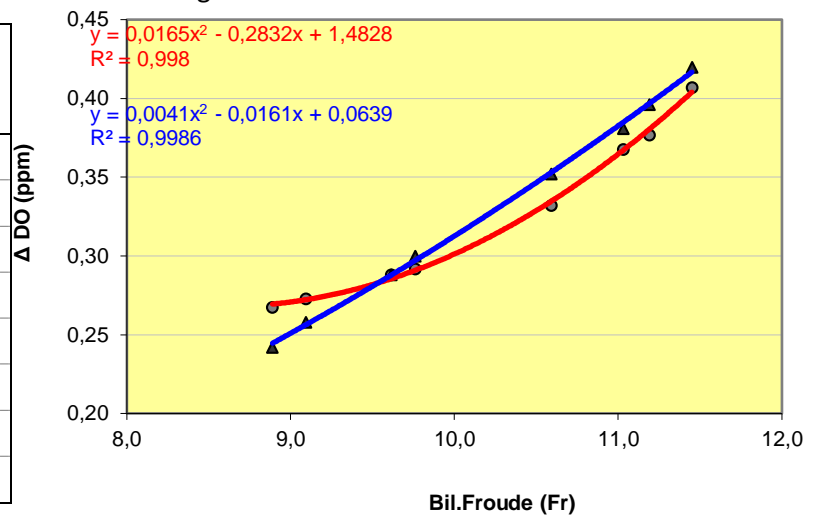
No.	Regresi	Bentuk Persamaan	Koef. Korelasi
1.	Linier Regresi	$y = 0.0409x - 0.104$	$R = 0.9426$
2.	Logaritme Regresi	$y = 0.2374Ln(x) - 0.2836$	$R = 0.9348$
3.	Exponensial Regresi	$y = 0.0241e^{0.2941x}$	$R = 0.9539$
4.	Power Regresi	$y = 0.0066x^{1.7086}$	$R = 0.9471$
5.	Kuadratik Regresi	$y = 0.0444x^2 - 0.4797x + 1.4177$	$R = 0.9895$

Hasil Analisis Perbandingan Hasil Perhitungan dengan QUAL2K

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui dan membandingkan hasil analisis di laboratorium dari sampel air dengan analisis menggunakan Software QUAL2K berdasarkan data-data yang diperoleh dari hasil pengukuran di lapangan. Perbandingan akan dilakukan secara parsial dan gabungan sebagai berikut :

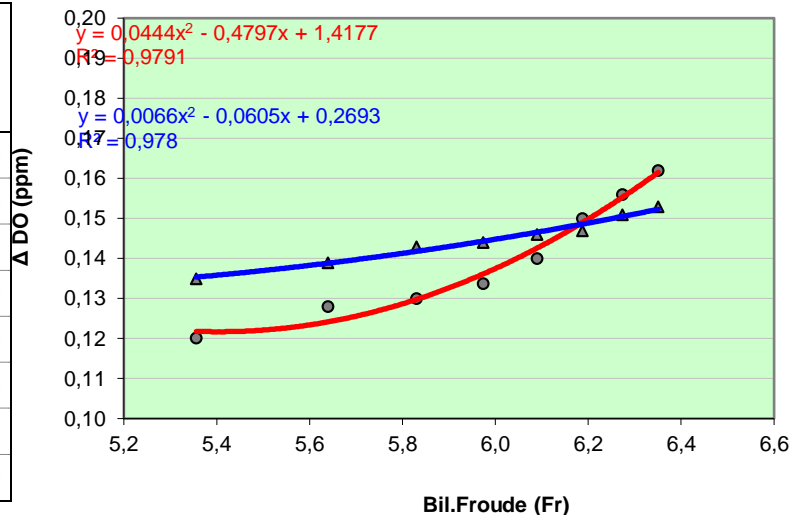
a. Perbandingan Regresi dan Korelasi di Bendung

No.	Fr	ΔDO LAB (ppm)	ΔDO Q2K (ppm)
1	8.889	0.2673	0.2420
2	9.093	0.2730	0.2580
3	9.613	0.2880	0.2880
4	9.760	0.2918	0.3000
5	10.593	0.3322	0.3520
6	11.030	0.3678	0.3810
7	11.190	0.3770	0.3960
8	11.450	0.4070	0.4200



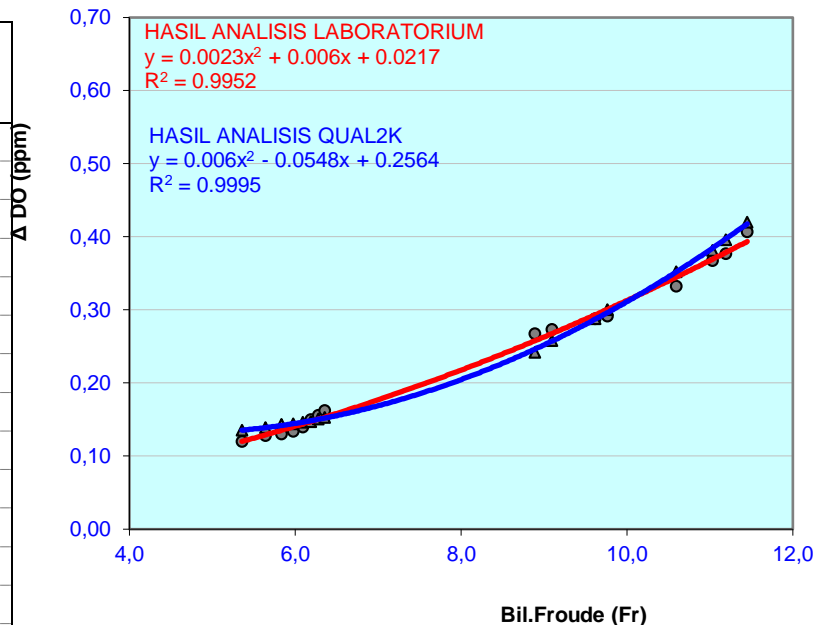
b. Perbandingan Regresi dan Korelasi di Terjunan

No.	Fr	ΔDO LAB (ppm)	ΔDO Q2K (ppm)
1	5.356	0.1202	0.1350
2	5.639	0.1280	0.1390
3	5.830	0.1300	0.1430
4	5.974	0.1337	0.1440
5	6.089	0.1400	0.1460
6	6.187	0.1500	0.1470
7	6.273	0.1560	0.1510
8	6.350	0.1620	0.1530



Perbandingan Regresi dan Korelasi Gabungan

No.	Fr	ΔDO LAB (ppm)	ΔDO Q2K (ppm)
1	5.356	0.1202	0.1350
2	5.639	0.1280	0.1390
3	5.830	0.1300	0.1430
4	5.974	0.1337	0.1440
5	6.089	0.1400	0.1460
6	6.187	0.1500	0.1470
7	6.273	0.1560	0.1510
8	6.350	0.1620	0.1530
9	8.889	0.2673	0.2420
10	9.093	0.2730	0.2580
11	9.613	0.2880	0.2880
12	9.760	0.2918	0.3000
13	10.593	0.3322	0.3520
14	11.030	0.3678	0.3810
15	11.190	0.3770	0.3960
16	11.450	0.4070	0.4200



KESIMPULAN

Kesimpulan yang diperoleh adalah sebagai berikut:

- Terbukti terjadi peningkatan kandungan oksigen terlarut akibat adanya olakan air di bendung dan terjunan yang diwakili oleh besaran Bilangan Froude, dengan nilai minimum 0.212 ppm pada Bilangan Froude = 5.356, dan nilai maksimum 0.407 ppm pada Bilangan Froude = 11.45.
- Bentuk model persamaan peningkatan kandungan oksigen beserta besaran koefisien korelasinya berdasarkan hasil analisis sampel air di laboratorium adalah sebagai berikut:
 - Bendung : $Y = 0.0165.x^2 - 0.2832.x + 1.4828$
 - Terjunan : $Y = 0.0444x^2 - 0.4797x + 1.4177$
 - Gabungan : $Y = 0.0023x^2 + 0.006x + 0.0217$

Dimana :

y = Peningkatan kandungan oksigen (ΔDO);
 x = Bilangan Froude (Fr)

- Bentuk model persamaan peningkatan kandungan oksigen beserta besaran koefisien korelasinya berdasarkan hasil analisis menggunakan Software QUAL2K adalah sebagai berikut:
 - Bendung : $y = 0.0066.x^2 - 0.0605.x + 0.2693$
 - Terjunan : $y = 0.0041.x^2 - 0.0161.x + 0.0639$
 - Gabungan : $y = 0.006.x^2 - 0.0548.x + 0.2564$
- Bentuk bangunan dan besar debit tidak ikut mempengaruhi peningkatan kandungan oksigen dalam air
- Nilai COD tidak ikut mem-pengaruhi perubahan kandungan oksigen terlarut. Hal ini disebabkan-beda waktu yang sangat kecil (± 10 detik) antara pengambilan sampel satu dengan lainnya. Beberapa kenaikan nilai COD disebabkan meningkatnya partikel terlarut akibat adanya olakan.
- Analisis menggunakan Software QUAL2K menunjukkan bahwa nilai yang dihasilkan awal dan akhir lebih tinggi, dengan tren yang sama. Hal itu disebabkan pada analisis menggunakan Software QUAL2K, faktor perubahan DO

karena temperatur, fotosintesis, serta proses aerasi normal tetap diperhitungkan.

SARAN

Saran yang dikemukakan dari hasil penelitian ini adalah:

- a. Penelitian ini bisa dilakukan di model test dengan hasil lebih baik apabila tinggi jatuh terpenuhi, dengan catatan harus bisa mengendalikan nilai DO pada air yang digunakan
- b. Adanya penelitian dimasa yang akan datang yang menghasilkan desain bangunan air yang aman bagi badan air (sungai atau saluran) tapi bisa memberikan andil yang besar bagi peningkatan kualitas air
- c. Penggunaan Software QUAL2K sebagai model untuk analisis kualitas air bisa direkomendasikan sepanjang mampu memahami konsep dasar prosesnya beserta keterbatasan yang dimiliki
- d. Diperlukannya penelitian lintas disiplin ilmu yang mempunyai obyek dan masalah yang berkaitan, sehingga dihasilkan model dan hasil penelitian yang lebih berkualitas dan bermanfaat.

DAFTAR PUSTAKA

- Alaerts, G., dan Santika, S.S., 1987, *Metoda Penelitian Air*, Surabaya : Penerbit Usaha Nasional.
- Chapra, S.C. dan Pelletier, G.J., 2003, *QUAL2K: A Modelling Framework for River and Stream Water Quality, Documentation and Users Manual*, Civil and Environmental Engineering Department, Tufts University, Medford, MA.
- Chaudhry, M.H., 1993, *Open-Channel Flow*, Englewood Clift, New Jersey: Prentice-Hall, Inc.
- Chow, Ven Te 1959, *Open Channel Hydraulics*, New York : McGraw-Hill, Inc.
- Fardiaz, S., 1992, *Polusi Air dan Udara*, Yogyakarta : Penerbit Kanisius.
- Metcalf dan Eddy, 1991, *Wastewater Engineering, Treatment Disposal Reuse*,

Fourth Edition, New York : McGraw-Hill, Inc.

Nazaroff, William M., dan Lisa Alvarez-Cohen, 2001, *Environmental Engineering Science*, New York – Chichester – Weinheim – Brisbane – Singapore – Toronto : John Wiley & Sons, Inc.

Sugiharto, 1987, *Dasar-Dasar Pengelolaan Air Limbah*, Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia.

Tchobanoglous, G. dan Schroeder, E., 1987, *Water Quality*, Menlo Park, California: Addison-Wesley Publishing Company.

Warren Viessman, Jr. and Mark J. Hammer., 1985, *Water Supply and Pollution Control, Fourth Edition*, Harper International Edition, New York : Harper & Row Publisher.